

ギターの表板について
—木材の構造と特性の考察—

目次

はじめに

第1章 ギターの構造及び材料の変遷

I ギターの構造

1. ギターの定義
2. ギターの外観と各部の名称
3. 標準的なギターの構造

II ギターに使用される材料の変遷

1. 古代における材料
2. 中世における材料
3. 近世以降における材料

第2章 ギターに使用される木材について

I 木材の構造と種類

1. 木材の構造
2. 木材の種類

II 木材の強度的特性

1. 木材の弾性
2. 木材の応力－ひずみの関係
3. 木材の乾燥

III 木材の音響的特性

1. 振動と音波
2. 共振と減衰
3. 音響特性の指標

IV ギター製作現場における事例研究

1. 「一柳ギター工房」におけるインタビュー
2. 乾燥・保管の実例
3. インタビューを終えての感想

第3章 木材の弾性試験

I 試験の目的

II 試験の方法

1. 試料について
2. 試験装置について
3. 試験項目について

III 試験結果と考察

1. 試験結果
2. 密度測定結果の考察
3. 含水率測定結果の考察
4. 曲げ試験結果の考察

IV 結論

おわりに

参考資料

参考文献

謝辞

はじめに

楽器にはそれぞれ固有の響きや音色がある。バイオリンの持つ、つやのある伸びやかな響き。ピアノの持つ優雅でリズムカルな反面、荘厳さを感じさせる響き。

なかでも、ギターは重低音を強調する温かみのある響きや、和音を引き分けるアルペジオなどの奏法により、旋律に装飾的な色合いを添えることができる点で、歌の伴奏や弾き語りにも最も適した楽器と考えられる。

また、身体をギターと密着させるその演奏姿勢は、音の響きを直に身体に感じることができる。こうした楽器との一体感と親密さを感じさせる点も、長い間、多くの人々に愛し親しまれてきた理由のひとつと思われる。

私は、学生時代にギターを弾き始めた。1970年代の日本は、その中頃までフォークやニューミュージックといわれるミュージシャンの活躍が全盛を迎えていた。彼らは、アコースティックギターやエレクトリックギターを手にして、従来の歌謡曲とは異なる曲調の作品を発表し、多くの若者の支持を得ていた。

ギターを購入してから、私はフォークやニューミュージックのミュージシャンが演奏するギターをコピーし練習した。やがて、ギターへの興味はより高度な演奏技術を披瀝するロックやフュージョンといったミュージシャンが演奏する曲調に変わった。その反面、純粋なクラシックギターの演奏曲などにも興味を持ち、練習した。

音楽好きな私は美しい旋律を奏でる演奏であれば、ジャンルを問わずにその音楽を聴き、素直に耳を傾けたが、ギターの響きや音色が奏でる音楽ほど自分の感性を深く揺さぶるものはないと感じた。

ギターは西欧で発展し完成した楽器であり、長い間、ギター製作者た

ちは彼らの理想とするギターの響きや音色に最も適した材料を選択し、最良の楽器を製作する努力をしてきた。当時のギター製作にはバイオリン製作者が兼業することが多く、高名なバイオリン製作者であるアントニオ・ストラディバリウスもギターの製作を手がけている。ギターとバイオリンの製作に共通した材料が使用されるのは、こうした製作上の背景が感じられる。

ギターの響きや音色は、その材料となる木材の性質によって大きく変化する。特に弦の振動を直接受け、そのエネルギーをギターの共鳴胴（ボディ）に伝え、また放射音に変換する表板の材質は、ギターの音質を決定する最も重要な要素といわれている。

この研究は、こうした理由から特にクラシックギター（以後ギターと略する）の表板に使用される木材の性質を明らかにし、その音の伝わりやすさ、振動しやすさといった側面からみた音響的性質を明らかにすることにある。そして最後に、近年の木材資源の減少に対応して、化学処理による新たな楽器用木材開発の試みを取り上げ、その現状について考察する。

第 1 章 ギターの構造と材料の変遷

I ギターの構造

1. ギターの定義

この研究で取り上げるギターについて、クルト・ザックスの定義を紹介する。

「プレクトラム(ピック類)を使わずに弾かれる撥弦楽器で、両側がくびれた木製の胴と、それに対して垂直な側板、膨らみのない平らな裏板と表板、表板の中央にある唯一の響孔、ネック、フレット、仰向きに反ったヘッド、その背後に付けられた 6 本のペグとピンで表板に固定された 6 本の弦からなる。」

また、ザックスが体系化した楽器分類法（5 分類法）によれば、ギターは弦鳴楽器のリユート族に属している。

この研究においても、上記の定義に基づきギターの構造及び形体の考察を行う。

2. ギターの外観と各部の名称

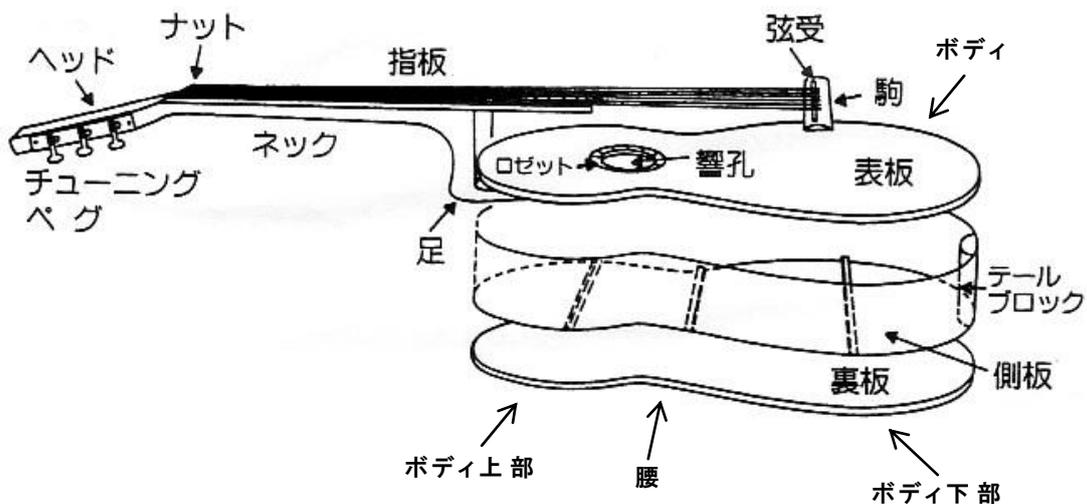


図 1

ギターの外観と構造を示した分解図「楽器の物理学」 2002 年より作図

3.標準的なギターの構造

3-1.ギターの寸法

現代のギターの原型を築き上げたのは、近代ギターの父といわれるアントニオ・デ・トーレス（1817-1892）であるといわれている。彼が1864年に製作したギターは最も評価が高いとされており、このギターの寸法を標準として紹介する。

表板の厚さ、中央部で約 2.5mm、周辺部で約 1.4mm。

裏板の厚さ、中央部で約 2.2mm、周辺部で約 1.2mm

弦長 650mm

ボディの長さ 483mm、ボディ上部の幅 272mm、腰部の幅 235mm

ボディ下部の幅 360mm

ボディ上部における深さ 約 72mm

ボディ下部における深さ 約 78mm

3-2.ギターの材料

トーレスがギター製作に使用した材料は、現在でも最良の材料とされている（材料の具体的説明は第2章にゆずる）。

表板 ドイツ唐檜

裏板と側板 ハカランダ、インディアン・ローズウッド、メイプル

ネック セドロ

指板 黒檀

駒 ハカランダ、インディアン・ローズウッド

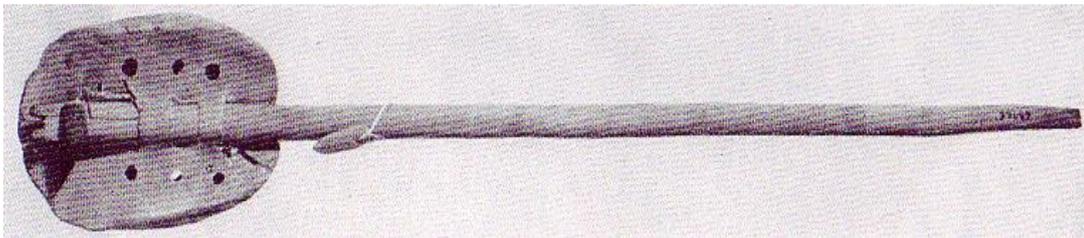
内部のカ木 ドイツ唐檜

II ギターに使用される材料の変遷

1. 古代（紀元前 1500 年頃）における材料

ギターの祖先といえるリュート系（¹）の弦楽器の存在を示す遺物は、古代のメソポタミア及びエジプトの遺跡から発掘されている。特にエジプトからは、紀元前 1500 年頃に使用されていたリュート系弦楽器が、王朝の墓地から出土されている。

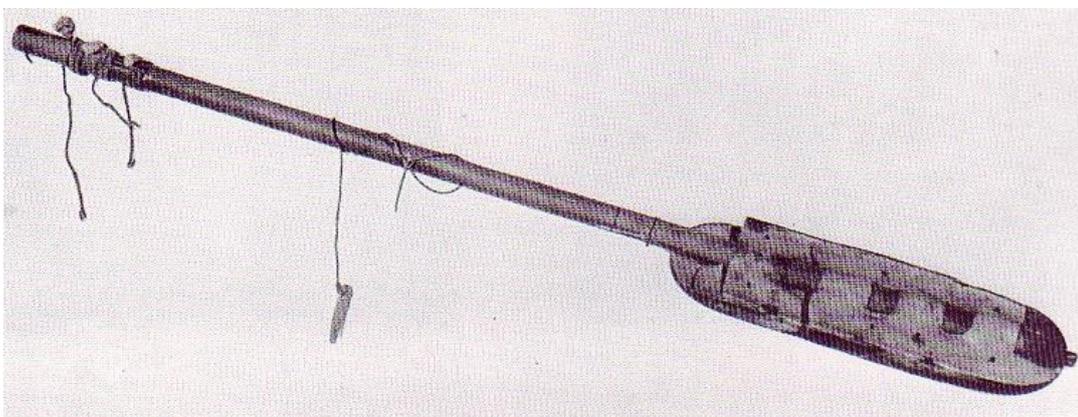
写真 1



「人間と音楽の歴史 エジプト II 古代音楽 第 1 巻」 (株)音楽の友社 昭和 60 年

写真 1 は、主に女性が使用した踊り子用のリュートである（全長約 62cm）。このリュートのボディは亀の甲羅を使用しており、赤く塗られた皮製の響板が張られていた。

写真 2



「人間と音楽の歴史 エジプト II 古代音楽 第 1 巻」 (株)音楽の友社 昭和 60 年

写真 2 は、男性用の大型リュート（全長約 119.5cm）で、果樹の実のようなものを半分に割って作られたボディと、赤く塗られた皮

製の響板及びネックから作られている。古代においては木材を曲げてボディを作る技術が発達しておらず、亀の甲羅や果樹の実を割ってボディを作っていたものと考えられる。

2. 中世（紀元 7 世紀～15 世紀）における材料

リュート系の弦楽器は、7 世紀後半からイスラムにおいてウッド（写真 3）という弦楽器として普及していった。

写真 3



浜松市楽器博物館にて撮影

（平成 16 年 7 月 4 日）

それまでのリュート系弦楽器は、亀の甲羅や果樹の実を加工してボディが作られ、表板には獣皮が張られていたが、ウッドではボディが木製で表板は薄い木材を使用していた。これにより弦が表板上の駒に取り付けられ、より強い張力と振動の安定性が得られ、表板への振動を直接的に伝えることができるようになった。これにより音量と音質の改善に大きな変化をもたらしたと考えられる。

イスラム帝国のイベリア半島征服（7 世紀中頃）により、ウッドがイスパニア（現スペイン）に持ち込まれた。やがて東西文化の接触と融合から、13 世紀後半頃にウッドがヨーロッパの楽器製作者によって西洋音楽に適した楽器として改良され、リュート（写真 4）が誕生した。

写真 4



浜松市楽器博物館にて撮影

(平成 16 年 7 月 4 日)

リュートのボディは楓もしくはシカモアの木を使用して製作されたといわれている。いずれも広葉樹系の硬質な材料であり、木材から薄い板を何枚も切り取った上で曲げ、それを膠などで張り合わせ丸く膨らませて固定した後、乾燥させたと考えられている。表板もウッドと同様に薄い木板でできており、弦振動の音響変換効率の改善に大きい影響を与えたといわれている。

リュートはスペインではあまり普及せずイタリアやフランスなどで改良されることにより、15 世紀から 17 世紀にかけて西欧で大流行した。

3. 近世以降（紀元 15 世紀～）における材料

現在のギターの前駆は、15 世紀頃から西欧において普及し始めたギターラ及びビウエラといわれており、共に裏板が平面でボディがくびれた形をした弦楽器であったとされている。材料については、当時のギター製作はバイオリン製作者が兼業していたことを考えると、表板には針葉樹系のドイツ唐檜を使用し、裏板と側板にはバイオリンと同様の楓か、もしくはフラメンコギターの裏板に使用される糸杉などを使用していたといわれている。

写真 5



トーレス作のギター

「メイキング・マスター・ギター」

株式会社現代ギター社 2003年

トーレスは、ギター製作において最も重要な要素は表板であると考えていたため、その材料にはドイツ唐檜しか使用しなかったといわれている。彼はこのことを実証するため、ボール紙の胴体を持つギター（Papier-mache）を製作したことがある。このギターは表板だけドイツ唐檜で製作されていたが、試奏してみたところ普通のギターとなんら遜色ない音色であったため、立ち合わせた人々を大きく驚かしたという逸話が残っている。

第 2 章 ギターに使用される木材について

I 木材の構造と種類

1. 木材の構造

1-1. 木材の構成細胞

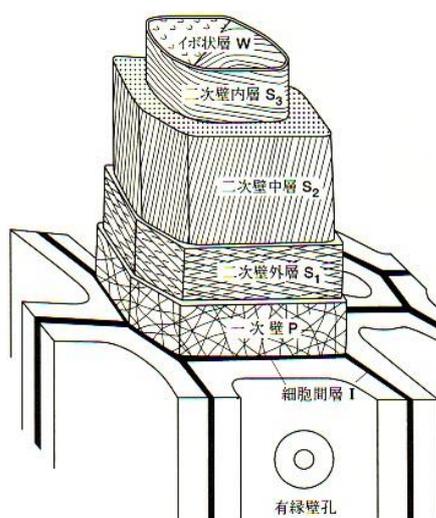
ギター製作には針葉樹及び広葉樹の双方が使用されている。木材は針葉樹と広葉樹の構成細胞の違いにより、その組織が異なる。針葉樹ではその構成細胞のうち 90%が仮道管と呼ばれる水分を通す繊維束の管から構成されているが、広葉樹の場合はその割合が約 50%である。その理由は広葉樹のほうが針葉樹よりも進化した樹木であり、その組織が針葉樹より複雑であるからだといわれている。

木材の実質の密度（真密度）は 1.5g/cm^3 を示し、樹種による差がないとされている。真密度とは木材の空隙をすべて取り除いた実質の密度をいう。つまり軽い材質（針葉樹）と重い材質（広葉樹）の違いは、密度の違い、つまり体積に対する空隙の割合の違いと言い換えることができる。仮道管が多い針葉樹の方が軽いといわれるのは、その空隙の多さによる。

木材の断面はスポンジのような穴だらけの構造をしているが、そのひとつひとつは壁細胞と呼ばれる空隙を含む管状の細胞から成り立っている（図 2）。壁細胞は、セルロース（錯綜状態の高分子）からなる結晶性のマイクロフィブリルと、リグニン、ヘミセルロース、の 3 つの成分から構成されている。マイクロフィブリルとは、セルロース分子の鎖が束ねられて出来た結晶性の細胞であり、壁細胞を支持する骨格と考えられている。また、隣り合うマイクロフィブリルとの間には、リグニンとヘミセルロースが混ざり合った物質によって埋められている。リグニンは接着剤の機能をもち、マイクロフィブリルとヘミセルロース間の接着や壁細胞同士の接着をする役割を果たしている。ヘミセルロースは、親水性のミク

ロフィブリルに対し疎水性のリグニンがその接着機能を果たせるために、両者を結び付ける緩衝材としての役割を持っている。

壁細胞はマイクロフィブリルの配列の仕方から一次壁 (P) と二次壁 (S) に分けることができる。隣り合う壁細胞同士はリグニンが存在する細胞間層 (I) によって接着されている。一次壁のマイクロフィブリルは、その表面が成長し拡大しやすいように可塑的な形状をしており、ランダムな網目状になっている。二次壁はマイクロフィブリルが整然と配列した形状となっている。二次壁は、さらにマイクロフィブリルの配列から 3 つの層に分けることができる。



一次壁：ランダムで疎な網目状

二次壁：マイクロフィブリルが密に整然と織りなしているさらに二次壁はマイクロフィブリルの配向から、3つの層に分かれている。

二次壁外層 S1：横向き交互配向

二次壁中層 S2：細胞軸にほぼ平行

二次壁内層 S3：横巻きに近い配向

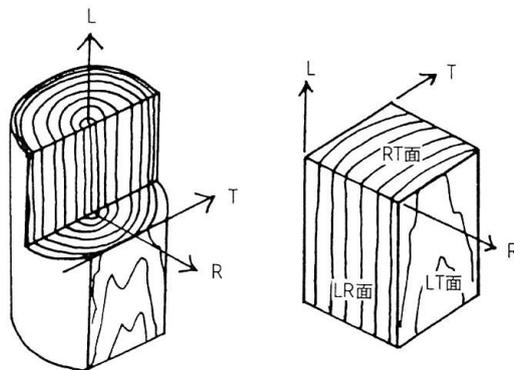
図 2 「木材の基礎科学」 日本木材加工技術協会関西支部編

このうち二次壁中層 S2 のマイクロフィブリルが細胞の軸方向にほぼ平行に並んでいることが、木材が軽くて強い性質を持つ原因となっているといわれている。

1-2. 木材の断面

樹木は大まかに分類すると、樹冠 (枝葉の部分)、幹そして根から構成されており、一般的に楽器の響板には切断した幹の部分を平板状に加工したものが使用されている。

一般的に木材の木採りには、その断面として線維方向（L）、放射方向（R）、接線方向（T）の3つの軸を基準とし、このうち2つの軸が直交する平面状の木板が使用されている（図3）。



3つの断面は以下のように区分されている。

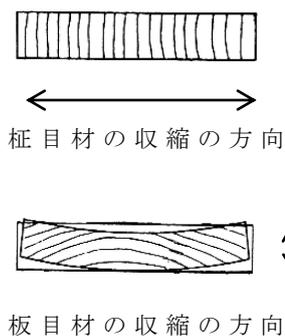
RT面（木口：横断面）

LT面（板目：接線断面）

LR面（柾目：放射断面）

図3 「木材活用辞典」木材活用辞典編集委員会 1991年

木材の強度や寸法変化は、これら軸方向の組み合わせによる断面の形状により著しく異なり、ギターの表板には主に柾目面（LR面）に製作された板が使用されている。その理由は、乾燥によって木材が収縮する方向が柾目材では木目（年輪）に直行するのに対し、板目材では木目に直角となるため、板の収縮率が各部分で異なり、板に反りが生じて楽器が歪む原因になってしまうからである（図4）。



る方向が柾目材では木目（年輪）に直行するのに対し、板目材では木目に直角となるため、板の収縮率が各部分で異なり、板に反りが生じて楽器が歪む原因になってしまうからである（図4）。

図4 「木材活用辞典」木材活用辞典編集委員会 1991年

木材の中心部分を横断面（RT）で見た場合、樹皮に近い白色部分を辺材、中心側の着色した部分を心材といい、双方の間を移行材という。一般的に辺材と心材はその物理的・強度的性質が著しく異なるといわれている。辺材は主に水分の通導機能を有しており、含水率が高いのに比べ、心材は一般に含水率が低いが耐久性がよいといわれている。一般的に移行材は、双方の中間的性質をもっている。

2.木材の種類

一般的に、ギター製作を含む弦楽器の音響的性質にとりわけ大きな影響を及ぼすのは、表板の材質であるといわれている。表板によく響く材質を使用するということは、楽器の音響性を高めるという点で重要な意味を持つとされている。現在のギター製作において表板に使用される木材は、唐檜、米杉、赤蝦夷松など多種あるが、主に針葉樹系の軽く柔らかな材質が用いられている。

唐檜（学名 *Picea jezoensis*）は、木肌が白色で肌目も細かく美しい表面をしており、また軽く柔らかいので加工が比較的容易なため、最も多く用いられている。長い間ギターの表板の材料は、スイスもしくはドイツから採れるドイツ唐檜であったが、現在では木材資源の減少から人工の植栽林も含め、ヨーロッパの広範囲に自生するヨーロッパ・スプルースが主な材料になっている。その他、北米のシトカ・スプルース（学名 *Picea sitchensis*）などがギター製作に使用されている。ドイツ唐檜とシトカ・スプルースはその強度的性質は殆ど変わらないといわれており、特にわが国に対しての輸入が多く、アコースティックギターなどのスティール弦ギターの表板によく使用されている。

米杉（学名 *Thuja plicata*）は、アメリカからの輸入材で、木肌が白色から赤橙色、茶色まで様々あり、軽く柔らかい材質で加工が容易だが、肌目がやや粗いといわれている。ドイツ唐檜が減少し、価格の高騰により入手が困難になったことにより、ギター製作によく使用されるようになった。ギターの表板には主にウエスタンレッドシーダー、ノーザンレッドシーダーがよく使用されている。双方ともアラスカの南東部から北米にかけての大森林に自生しているため、ドイツ唐檜より豊富に伐採で

き価格を安くできる。また、幹が大きいと幅が広く木目が均等な良質の板が採れる。その上、表板にドイツ唐檜を使用したギターが多くの場合 2、3 年後に音の響きが好転するといわれているのに対し、米杉で製作したギターは完成直後から大きな音で響きの良い音質が得られるといわれており、こうした点も米杉の需要が増加傾向にある理由とされている。しかし、米杉の表板を使用したギターは音質にばらつきがあり、必ずしも最終的な音質がよい結果となるとは限らないのが難点といわれている。

赤蝦夷松（学名 *Picea glehni*）は主に北海道から利尻、南千島（択捉、国後、色丹）などの亜寒帯地域の島が原産で、主に日本製のギターの表板やバイオリンの甲板に使用されている。同種の蝦夷松とは殆ど同じ性質を持っており、製材処理においても赤蝦夷松と蝦夷松とは一括して取り扱われることが多いとされている。蝦夷松も良質の材料はピアノやオルガンの響板、バイオリンの甲板に使用されている。ギターに使用される赤蝦夷松の木肌はおおむね淡黄白色をしており、軽く柔らかいので加工が容易であるとされている。また、肌目も細かく美しいので仕上げにより光沢を得ることが出来るといわれている。

一方、ギターの裏板・側板に使用される材質としては、長い間、紫檀の一種であるハカランダ（学名 *Dalbergia nigra*）が使用されてきた。ブラジルの北東部に自生するマメ科の広葉樹で、硬質で強度があり、またバラに似た香りをしている。肌目が赤橙から濃紫色をした変化の多い色調をしており、褐色の縦縞模様が存在し、塗装によりその美しさがいっそう引き立つことから、良質なギター製作には欠かせない材料としての評価を得てきた。また、しかし、相次ぐ伐採からワシントン条約（注 1）の規定に基づき、伐採・輸入禁止措置となり現在では入手困難とな

っている。現在では、それに代わる材料としてインディアン・ローズウッド、マホガニーなどが主に使用されている。

インディアン・ローズウッド（学名 *Dalbergia latifolia*）はインドの中央から南部にかけて自生し、ハカランダほど硬質ではないが、それ以外では同様の性質を持っているといわれている。現在でも伐採されており、良質の材料はハカランダの代わりとして普及している。マホガニー（学名 *Swietenia macrophylla*）は中南米や西インド諸島に自生し、重く硬い材質といわれている。良質な材料はギター製作に使用されるが、輸出量が少量であり高価な材料としてあつかわれている。

ネックにはセドロ、マホガニーが使用され、指板には黒檀が使用されている。セドロ（学名 *Cedar odorata*）は南米からキューバに自生し、マホガニーより軽く加工が容易なためマホガニーより普及しており、乾燥が容易で狂いが少ないといわれている。黒檀（学名 *Dioapryos piscatoria*）はインド南部、セイロンに自生しており、硬質な材料であるため、指板材として広く使用されている。

以上のように良質のギターに使用される材料は、ほぼ評価が定まった特定の材料が選択されているが、現在の木材資源枯渇の現状から入手困難な材料も存在し、今後も材料の選択は変遷を続けてゆくものと考えられる。

注1) ワシントン条約とは、絶滅の恐れある野生動植物の国際取引を規制し、その種の保存を図ることを目的としており、1973年に採択ワシントンで採択され75年に効力が発生した。わが国はスイスに本部を置く国際自然保護連合（国家、政府、民間団体が加入）に、78年に環境庁が政府機関として加盟し95年から国家会員として参加し

ている。

II 木材の強度的特性

1. 木材の弾性

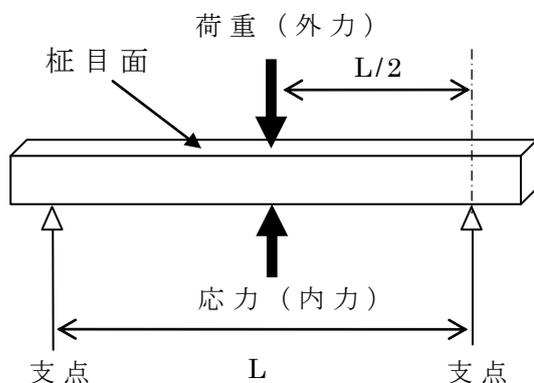
弾性とは物体に外力が加わり形や体積が変化しても、その力を取り除くと再びもとの状態に回復する性質のことであり、物体の変形のしにくさを表している。

木材に外部からさまざまな荷重がかかると、木材の変形（ひずみ）が起きる。この荷重を外力という。外力が木材を破壊しない間は、木材に外力と等しい内力が生じている。このとき、ある断面の単位面積に作用する内力を応力といい、 N/m^2 (kgf/cm^2) 単位で表される。

2. 木材の応力—ひずみの関係

木材に対する強度特性の評価には、日本工業規格（JIS）「木材の試験方法 Z2101」が規定する弾性試験（曲げ試験）があり、その手法として中央集中荷重方式がある（図 5）。本研究の第 3 章で行った木材の弾性試験はこの中央集中荷重方式である。

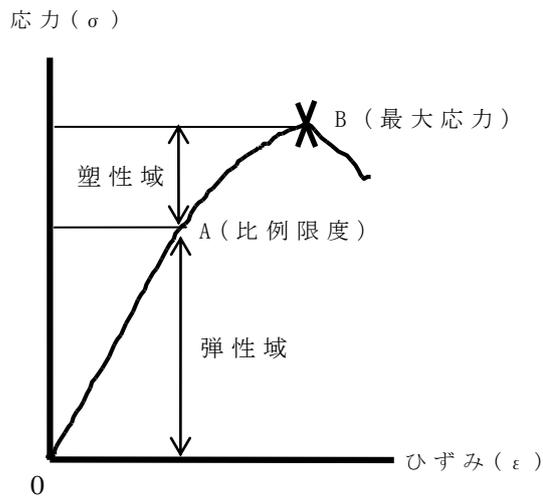
図 5 中央集中荷重方式の原理



中央集中荷重方式とは、木材を試験器に取り付け、柃目面に対しスパン（L）の 1/2 の部分に荷重をかけ、試験体に生じる応力とひずみを測定する方法である。

この試験の結果から、縦軸に応力を、横軸にひずみをとって双方の時系列的変化を図にした「応力—ひずみ線図」（図 6）を作成し、相互関係を考察することができる。

図 6 木材の応力－ひずみ線図



一般に、0 から A 点まで応力とひずみはほぼ直線的に比例する。木材が破壊する B 点（最大応力）までの、ほぼ 2/3 の応力である。この直線関係の限界点を比例限度（A 点）という。比例限度以下で応力を除けば、ひずみが減少し残留ひずみが残らないので、弾性域と呼ばれる。

比例限度を過ぎて応力が加わると、ひずみは直線性を失って増大し、その後応力を除いても残留ひずみが残るので、塑性域と呼ばれる。そして最大応力（B 点）に至ると破壊する。一般に弾性域内では、応力（ σ ）とひずみ（ ϵ ）の間に $E = \sigma / \epsilon$ の関係が成立する。この比例定数 E をヤング係数（弾性係数）といい、この値が大きいほど、一定の応力に対してひずみが小さいことを意味する金属などでは、材料の性質によって一定のヤング係数値が得られるが、木材の場合は同種の材質でも一様ではなく、ヤング係数はある範囲に分布するといわれている。

第 3 章における曲げ試験の結果を「応力－ひずみ線図」にグラフ化して巻末に記載した（資料 2）。

3.木材の乾燥

木材は壁細胞で構成されているが、この空隙部分を細胞内腔という。木材を切る前には、この細胞内腔には自由水と呼ばれる仮道管を流れる水が大量に含まれている。木材を切ると乾燥が始まり、細胞内腔の自由水が急速に蒸発し含水率が 30%ほどになるといわれている。含水率が 28%以上の状態を繊維飽和点といい、この状態なら乾燥によって生じる

割れや狂いは起きないといわれている。やがて、含水率が繊維飽和点以下になると壁細胞内にある結合水とよばれる分子間レベルで結びついた水分が空隙部分の細胞内腔に向かって移動し、気体となって蒸発を始めるが、結合水は壁間の分子と結びついているので水分子が移動したところに出来た空間には、壁を作っていた分子が集まり空間を埋めることになる。こうして細胞内壁自体の体積が減少し、木材が収縮する。これをセルロースの結晶化という。木を切ったばかりの生材を大気中に放置すると、やがて大気の温室度に応じた一定の含水率になる。日本の場合、数十年間の自然乾燥で、国内の年平均含水率（最終的な含水率）である約 15%程度になるといわれている。

木材の乾燥には自然乾燥と人工乾燥の二通りがある。自然乾燥は、材料となる木材を工場や倉庫あるいは屋外などに堆積し、自然に乾燥させる方法である。これに対し強制乾燥は木材を乾燥室に入れ熱風で加熱し乾燥させる方法である。

木材を乾燥させる理由として以下のことがあげられる。

- ① 狂いや塑性の防止。
- ② 湿潤な状態では変色や腐朽が生じる。
- ③ 重量が減り、輸送や取扱いが容易になる。
- ④ 木材同士の接着時に、十分な接着力を維持するため。

ギター製作においては自然乾燥を採用する製作者が多いと言われている。その理由は、自然乾燥では木材の表面も内部もほぼ一様に乾燥できるためセルロースが結晶しやすく、全体が収縮するだけで木材の狂いや割れが生じにくいからである。しかし、現実的には自然乾燥のみでは含水率を約 15%程度にすることが限度といわれている。それに対して、人工乾燥では短時間で所定の含水率まで下げることができる反面、表面

から乾燥するのでセルロースが崩壊しやすく、表面の張力に対し水分の豊富な木材内部に圧縮応力によるストレスが生じ、表面割れの現象が起こりやすいとされている。

したがって、ギター製作者の中には自然乾燥によりあらかじめ相当程度まで含水率を低下させておき、加工直前に人工乾燥で所定の含水率に低下させる人もいる。

Ⅲ 木材の音響的特性

1. 振動と音波

音が伝わる現象とは、音源から発せられた振動が媒質という物体を伝わることをいう。つまり、振動することが出来る音源と振動を伝えることができる媒質という二つの物体が存在しなければならない。ギターを例に取れば音源とは弾かれた弦に相当し、媒質は表板や裏板などのボディであり、人体も含まれる。

弦が振動すると媒質であるギターの表板・裏板に伝わり、その振動が横波の音圧を発生させ、これにより周囲の空気密度が変化する。これにより空気分子が圧縮されて密になる部分と、希薄となった密度の低い疎の部分が生じ、縦波の圧力が発生する（図 7）。この状態が交互に繰り返し、弦振動が空気の粗密を生じさせる運動を音波という。

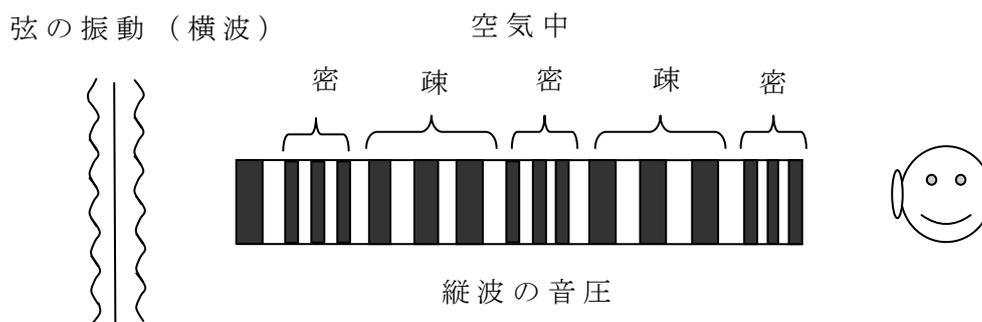


図 7 音が空気中を伝わるしくみ

2.共振と減衰

物質がある特定の周波数でよく振動する現象を共振（共鳴）という。物質には、それぞれ最も振動を良く伝えることができる固有周波数という音響的特性がある。例えば、オルゴールの機械の部分だけでは小さな音しか聞こえないのに、ギターやバイオリンの響板に乗せるととたんに響きの良い音が満ち溢れるのは、響板の固有周波数がオルゴールの振動周波数と共振したためと考えられる。

振動の振幅が時間の経過に伴い減少することを減衰という。減衰は媒質となる空気の抵抗や振動する物質の内部摩擦によって振動エネルギーが熱エネルギーに変換されるため生じる。ギターやバイオリンに使用される木材にも、固有の内部摩擦がある。内部摩擦の小さな材質ほど振動エネルギーが熱エネルギーとして損失することなく減衰しにくい音響変換効率のよい材料といわれている。

3.音響特性の指標

木材の音響特性は、振動のしやすさ、伝わりやすさ、吸収されやすさなどから評価され、固有音響抵抗値、音速などによって評価することができる。とされている。

固有音響抵抗値 $z(\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}) = \rho \cdot c = \sqrt{\rho \cdot E}$ 、（ ρ ：密度または比重、 c ：音速、 E ：ヤング係数）は、密度または比重と音速の積、もしくはヤング係数との積の平方根で表せられ、この値が小さいほど振動しやすい媒質であると考えられている。

また、媒質に伝わる音速は $c(\text{m/s}) = \sqrt{E/\rho}$ （ ρ ：密度または比重、 E ：ヤング係数）で表せられる。すなわち、音速は媒質の弾性係数の平方根に比例し、媒質の密度の平方根に反比例する。

IV ギター製作現場における事例研究

1. 「一柳ギター工房」におけるインタビュー

平成 16 年 7 月 5 日午後 1 時 30 分、私は愛知県海部郡蟹江町でクラシックギターの製作を行っている一柳一雄さんを訪ねた。自宅兼工房の 2 階の作業室に上がってゆくと、父親の一雄さんと息子さんの邦彦さんが作業中で、黙々と働いていた。和夫さんはネックとヘッドの部分を接合しており、邦彦さんは外枠木型に 2 枚の接着した裏板をはめ込む作業をしていた。

自己紹介をすると、一雄さんが今作業しているネックとヘッドの接合部の切断面を見せ、1mm ほど弓なりに湾曲している部分があること、木材の湿度管理がいかに重要なものか説明してくれた。

一雄さんはタカミネ楽器の技術相談を兼ねているようで、はっきりなしにタカミネ楽器の工場から電話がかかってきて、たびたびインタビューが中断した。その一雄さんが 2 時過ぎに私用で外出すると、息子さんの邦彦さんが代わってインタビューを引き受けて下さった

邦彦さんは、表板や裏板に使用する何枚もの板をたわめたり、手の甲で軽く叩いたりしてその音や弾力性の違いを説明し、私にも実演させてくれた。それぞれの板には、最も振動を良く伝える固有周波数という音響的特性がある。ボディの組立て時に表板と裏板の組み合わせを行うが、この固有周波数の組み合わせが合いすぎると共振しすぎて音が響きすぎ粗い音になってしまう。逆に組み合わせが良くないと、振動が減衰して音が鳴らない結果を生んでしまう。和彦さんは最後に、組立てにおける各材料の選択は、単によく響く材料の組み合わせではなく、素材の良否からくる価格的な組み合わせ、引き手の演奏レベルなど総合的に判断して組み合わせ、最終的にバランスの取れた音質を得ることが重要だ、と

話してくれた。

またこうした配慮をしても、塗装を終え最終的な製品として実際にギターを弾きこんでみると、自分の期待通りの音質が得られないこともあるという。しかし、それでも、一定の水準を持つギターに仕上がります、と邦彦さんは自信をもって話してくれた。

2.乾燥・保管方法の実例

邦彦さんが教えてくれた材料の乾燥方法・保管方法を以下に記す。一柳ギター工房では、材料は2階作業室と3階の屋根裏に保管している。

木材は、その用途により乾燥方法が異なるが、保管上の共通点として以下の点が上げられる。

①紫外線に触れると、表面が変色、変形する危険があるので、倉庫などの暗室に保存する。

②湿度は50～65%の間に維持することが大切とされる。一柳ギター工房の2階の作業室では空調による湿度管理をしており、湿度は52%程度だった。

③表板：材料の両端（2本）に栈木をひき、重ね積みする。

④裏板・側板：材料の両端（2本）と等間隔（2本）になるように、合計4本栈木をひき、重ね積みする。裏板には硬い広葉樹の木材が用いられるため、歪みや反りが生じないように上から重石を乗せ、縛ることもある。

⑤：ネック：表板や裏板同様に栈木をひき、重ね積みする。表板や裏板の材料に比べて木材が厚く密度があるので、乾燥には余計時間がかかる。湿度の影響を避けるため、天井付近に保管することが多い。

⑥乾燥期間については、自然乾燥の場合、製作するギターの種類、求められる品質・価格などによりさまざまであり、ギター製作者によっ

でも異なる。最低 2 年間乾燥させるところもあれば 10 年間は乾燥させる製作者もいる。一柳ギター工房では最低 10 年間は自然乾燥させ、貴重な材質と判断した場合 20 年以上乾燥させるという。

3.インタビューを終えての感想

一柳ギター工房では、自然乾燥にこだわったクラシックギターを製作している。それは、有名なギター製作会社の技術顧問を兼ねる一彦さんの確かな技術と、材料に対しての深い理解や愛情を感じさせる人柄から、今後も不変であり続けるに違いない。

「一度も故障や修理で返品されてきたギターはありません。」

息子さんの邦彦さんが誇らしげに語ったこの言葉が、とても印象に残ったインタビューだった。

インタビュー先 一柳ギター工房

所在地 愛知県海部郡蟹江町蟹江本町字両伍 110

第 3 章 木材の弾性試験

I 試験の目的

ギターに使用される木材には、建築材料に求められる強度、加工のしやすさ、価格の低廉、入手しやすさなどの性質以外に、振動のしやすさ、伝わりやすさなどの音響的な特性が要求される。その指標として

$$\text{固有音響抵抗値 } z (\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}) = \rho \cdot c = \sqrt{\rho \cdot E}$$

$$\text{もしくは音速 } c (\text{m/s}) = \sqrt{E / \rho}$$

などがあげられる（ただし、 ρ ：密度、 E ：ヤング係数）。

いずれの式にもヤング係数が用いられており、この係数を求めることにより木材の音響特性を明らかにすることができるといわれている。

本試験は入手した木材に対し弾性試験を行い、その結果からヤング係数を算出して各試料の固有音響抵抗値、音速を求め、各試料間の音響特性の比較を行い、ギターの表板に使用される木材の音響的優性を明らかにすることを目的とする。

試験は富山県林業試験センターで行い、試験環境及び試料の条件、試験項目は日本工業規格（JIS）「木材の試験方法 Z2101」に準じ、その試験方法（資料 1）および試験結果のデータ（資料 2）を巻末に記載した。

II 試験の方法

1. 試料について

本試験で使用した木材の入手先と種類は次の通りである。試料の性質は巻末に資料 3 として記載した。

富山県林業試験センター（富山県射水郡小杉町黒河新 4940）

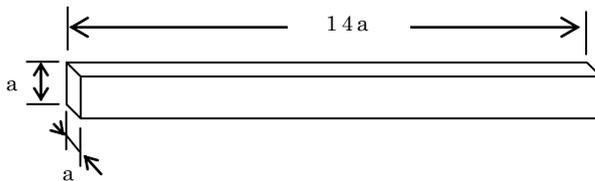
試料名：唐檜、蝦夷松、瓜肌楓、鬼胡桃

白山木工製作所有限公司（富山県富山市下富居 2-1-3）

試料名：檜、朴、杉、樺

試料は、日本工業規格「木材の試験方法 Z2101」の曲げ試験に規定されている寸法に基づいて作成した（図 8）。試験体は、横断面が

図 8 試験体の寸法



正方形の柱体とし、その寸法は、一辺の長さ(a)を 20mm、試験体の長さを 280mm（辺長の 14 倍）とした。

2. 試験装置について

2-1. 曲げ試験器

機器名称 AUTOGRAPH

型式 AG-10TA

メーカー SHIMAZ

2-2 変位測定装置

機器名称 DATA LOGGER

型式 UCAN-20PC

メーカー KYOWA

2-3. その他付属装置類(PC など)

2-4. 軽量器

機器名称 METTER 型式 PB3002 メーカー TOLEDO

仕様 Max 3100g Min 0.5g

2-5. 乾燥器

機器名称 ELECTRIC DRYING OVEN 型式 FS-620

メーカー ADVANTEC 仕様 1φ 100V 1.4kVA

写真 6 曲げ試験機、変位測定装置



3.試験項目について

3-1.密度測定

密度は、次の式によって算出し、小数点以下2位まで求める。

ただし、 ρ ：密度 (g/cm^3)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m ：試験体の質量(g)

V ：質量測定時の試験体の体積(cm^3)

3-2.含水率測定

試験体を換気の良い乾燥器の中に保管し、温度 $100^\circ\text{C} \sim 105^\circ\text{C}$ で 24 時間乾燥し、恒量に達したときの質量(m_2)を測定する。

含水率は、以下の式によって算出する。

ただし、 μ ：含水率 (%)

$$\mu = \frac{m_1 - m_2}{m_2}$$

m_1 ：乾燥前の質量(g)

m_2 ：全乾質量(g)

3-3.曲げ試験

曲げ試験は、中央集中荷重方式で行った(写真7)。材料試験器に試料を取付け、柁目面に荷重をかけながら試料に生じる変形(ひずみ)を測定した。平均荷重速度は、毎分 $14.70\text{N}/\text{mm}^2$ 以下とした。

写真7 曲げ試験の作業風景



曲げヤング係数(E_b)は、曲げ比例限度(ρ_{bp})、曲げ強さ(ρ_b)は次の式(1)～(3)によって算出し、有効数字3桁まで求める。

$$E_b = \frac{\Delta PL^3}{48I \cdot \Delta y} \quad (\text{N}/\text{mm}^2) \cdots (1) \quad \rho_{bp} = \frac{P_p l}{4Z} \quad (\text{N}/\text{mm}^2) \cdots (2)$$

$$\rho_b = \frac{P_m l}{4Z} \quad (\text{N/mm}^2) \cdots (3)$$

ただし ΔP : 比例域における上限荷重 (最大応力の 40%) と下限荷重 (最大応力の 10%) との差 (N)

Δy : ΔP に対応するスパン中央のたわみ (mm)

P_p : 比例限度荷重 (N)

P_m : 最大荷重 (N)

l : スパン (mm)

$$I: \text{断面 2 次モーメント } I = \frac{bh^3}{12} \quad (\text{mm}^4)$$

$$Z: \text{断面係数 } Z = \frac{bh^2}{6} \quad (\text{mm}^3)$$

ただし、 b : 試験体の幅 (mm)

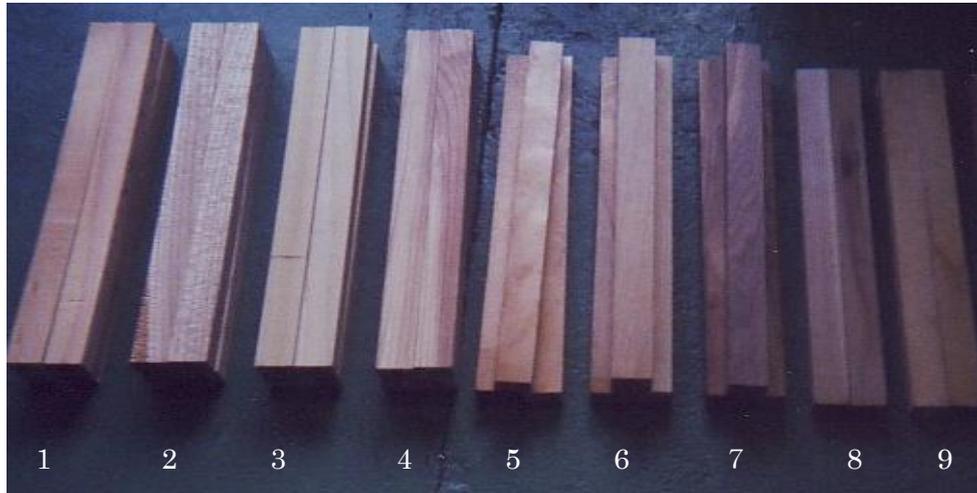
h : 試験体の高さ (mm)

Ⅲ 試験結果と考察

1. 試験結果

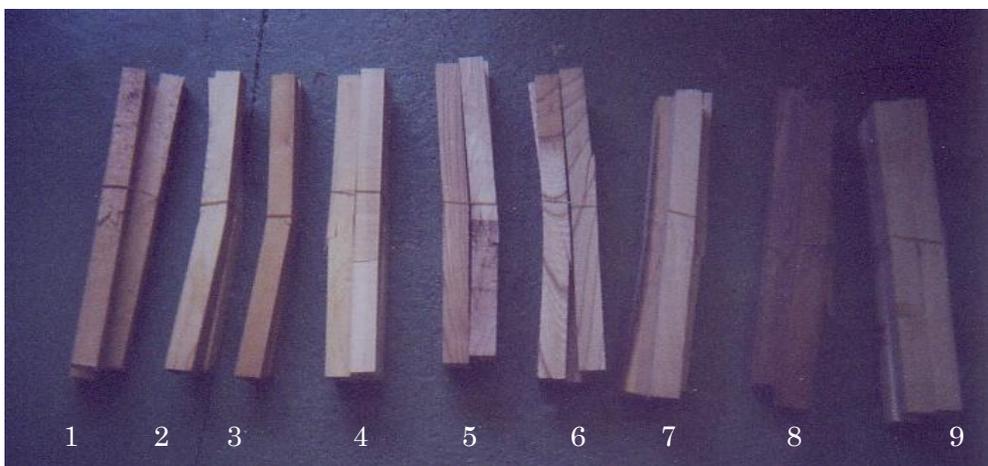
曲げ試験前後の試料の状態を写真 8、9 に示した。

写真 8 試験前の試料



1. 檜:心材 (能登)、2. 樺:移行材 (飛騨) 3. 朴:心材 (不明)
4. 杉:移行材 (立山) 5. 瓜肌楓 (不明) 6. 唐檜 (不明) 7. 鬼胡桃 (不明)
8. 蝦夷松:心材 (北海道) 9. 蝦夷松:辺材 (北海道) () 内は産地

写真 9 試験後の試料



1. 唐檜 2. 蝦夷松 (辺材) 3. 蝦夷松 (心材) 4. 檜 5. 杉 6. 樺
7. 瓜肌楓 8. 鬼胡桃 9. 朴

表 1 に曲げ試験、密度測定、含水率測定の結果を示した。

表 1

樹種	試料	曲げヤング係数(N/mm ²)	曲げ比例限度(N/mm ²)	曲げ強さ(N/mm ²)	密度(g/cm ³)	含水率(%)
唐 檜	1	5080.6	42.1	63.4	0.41	10.9
	2	5218.6	42.2	73.7	0.44	11.0
	3	6811.6	43.6	66.6	0.43	11.6
蝦夷松(心材)	1	9142.7	69.0	110.7	0.57	11.0
	2	8848.4	60.8	112.5	0.58	11.1
蝦夷松(辺材)	1	8053.2	46.3	84.4	0.50	11.0
	2	8189.4	44.7	77.2	0.49	11.0
檜	1	6339.9	45.3	60.6	0.43	10.7
	2	5629.8	46.6	77.6	0.52	11.3
	3	8011.9	45.4	55.6	0.42	11.2
	4	6383.0	47.7	78.3	0.52	11.4
杉	1	3232.9	35.0	50.9	0.42	11.9
	2	5446.0	36.0	64.8	0.42	11.8
	3	5602.6	31.6	54.4	0.39	12.0
	4	5374.0	33.4	56.0	0.41	11.7
樟	1	6964.9	58.4	114.7	0.81	11.5
	2	5459.7	59.7	122.2	0.79	11.5
	3	6805.0	55.9	99.3	0.82	11.5
	4	5625.0	57.2	118.0	0.77	11.6
瓜肌楓	1	7777.4	76.2	133.1	0.91	10.4
	2	6914.1	75.6	125.8	0.90	12.6
	3	7855.9	73.5	128.7	0.88	8.5
鬼胡桃	1	18875.1	81.6	146.5	0.93	9.4
	2	8039.0	73.9	98.6	0.81	9.9
	3	16545.3	74.4	118.5	0.84	9.5
朴	1	10798.6	84.3	102.1	0.63	10.8
	2	13523.2	83.8	91.5	0.57	10.6
	3	7554.5	65.2	91.7	0.60	10.5
	4	6984.0	61.9	93.9	0.61	10.5

表 1 の試験結果により求めた曲げヤング係数と密度から表 2、3 を作成した。

表 2 固有音響抵抗値 ($10^5 \text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$)

樹種 \ 試料	1	2	3	4
唐檜	14.4	15.2	17.1	
蝦夷松	22.8	22.7	20.1	20.0
檜	16.5	17.1	18.3	18.2
杉	11.7	15.1	14.8	14.8
樺	23.8	20.8	23.6	20.8
瓜肌楓	26.6	24.9	26.3	
鬼胡桃	41.9	25.5	37.3	
朴	26.1	27.8	21.3	20.6

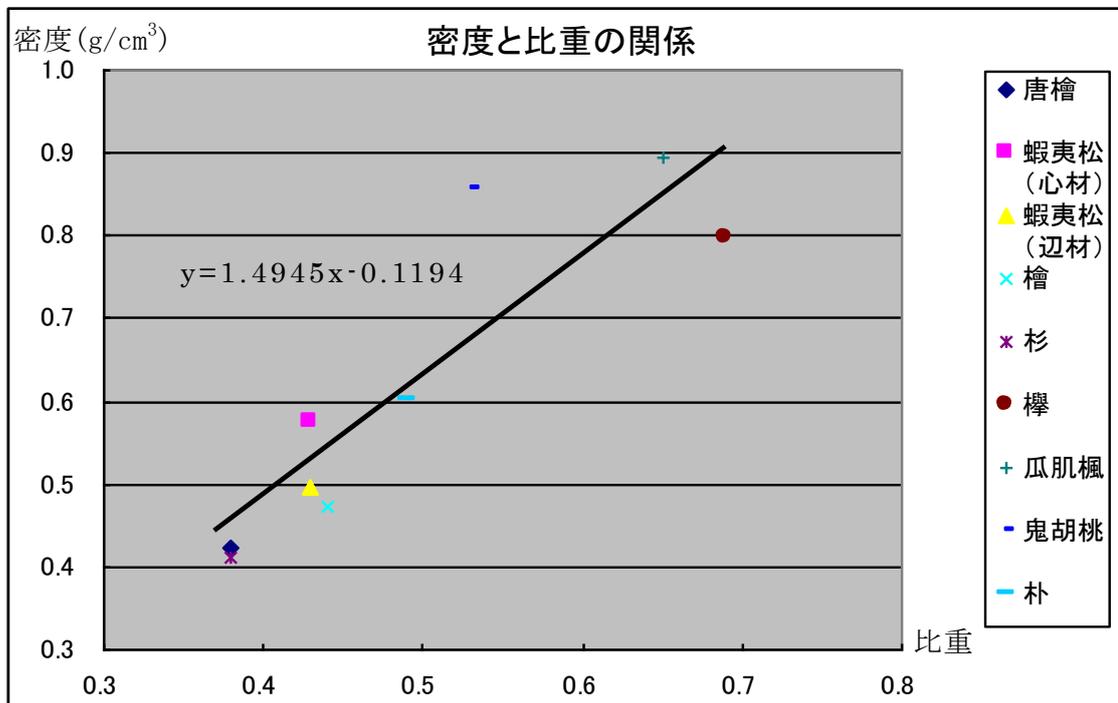
表 3 音速 (m/s)

樹種 \ 試料	1	2	3	4
唐檜	3520.2	3443.9	3980.1	
蝦夷松	4005.0	3905.9	4013.3	4088.1
檜	3839.8	3290.4	4367.6	3503.6
杉	2774.4	3600.9	3790.2	3620.4
樺	2932.4	2628.9	2880.8	2702.8
瓜肌楓	2923.5	2771.7	2987.8	
鬼胡桃	4505.1	3150.3	4438.1	
朴	4140.1	4870.8	3548.4	3383.7

2.密度測定結果の考察

2-1.密度と比重との関係

図 9



一般的に、密度と比重は密接な相関関係にあるといわれる。実際に測定した各試料の密度の平均値と、文献値による比重の値をまとめて図 9 を作成してみると、両者には高い相関関係があることが分かった。

よって、この試験においても比重の代わりに密度を使用して固有音響抵抗値、音速の計算を行うことにした。

比重は以下のデータを使用した。

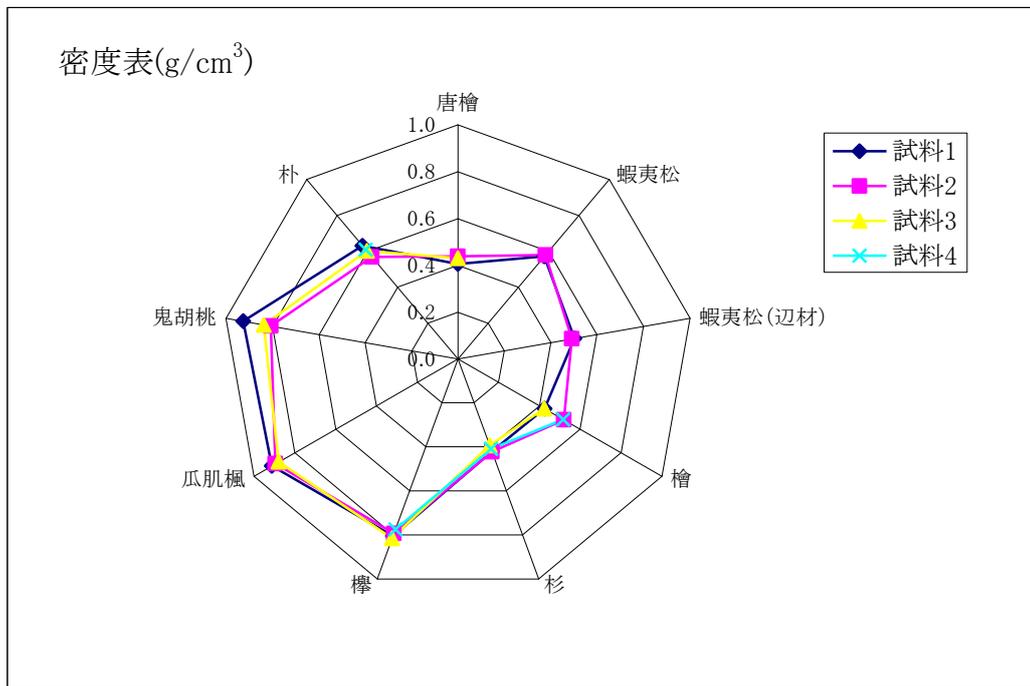
唐檜 (0.38)、蝦夷松 (0.43)、檜 (0.44)、杉 (0.38)、樺 (0.69)、瓜肌楓 (0.65)、鬼胡桃 (0.53)、朴 (0.49) () 内は平均値

ただし、瓜肌楓は同じ性質である板屋楓のデータを使用した。

「木材工業ハンドブック 改定 3 版」農林水産林業試験場 丸善株式会社 1982 年 より引用

2-2. 広葉樹と針葉樹との比較

図 10

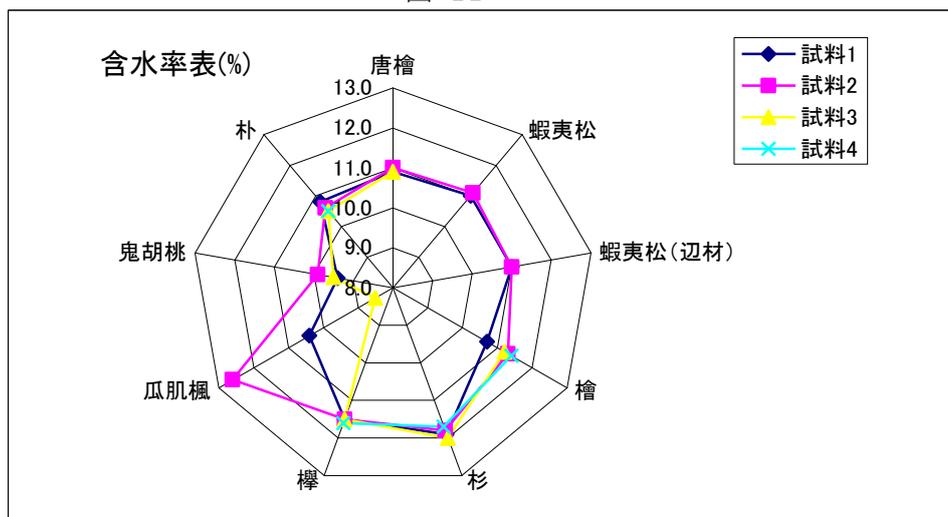


密度測定の結果より作成した図 10 から唐檜、蝦夷松、檜、杉などの針葉樹の密度は、樺、瓜肌楓、鬼胡桃、朴などの広葉樹に比べると明らかに密度が低いことが分かった。一般的に、水分の通路となる仮道管は、針葉樹の場合はその構成細胞の 90%、広葉樹は約 50～70%程度といわれている。つまり、仮道管という構成細胞の体積に占める空隙率の割合の相違が、密度の違いとなっているものと考えられる。

密度は樹種によって相違があるが、一般的に同じ種類の木材でも個体差があるといわれている。また、同一の木材でも心材か辺材か、幹の上部か、根に近い方か、によっても異なり密度の範囲は 0.3～0.8g/cm³ といわれている。本試験でも試験結果表から分かるように、ほぼこの範囲となっている。

3.含水率測定結果の考察

図 11



含水率測定の結果から作成した図 11 から、唐檜、蝦夷松などの針葉樹系の含水率（平均 11.3%）に比べ、樺、瓜肌楓、鬼胡桃、朴などの広葉樹系の含水率（平均 10.6%）は低いことが分かった。ただし、広葉樹の樺、瓜肌楓については、試料ごとにばらつきのある結果となった。

針葉樹と広葉樹の含水率の相違は、構成細胞であるセルロースの吸湿性の違いにあると考えられる。セルロースは水分子と結びつきやすい性質があり、結合水として壁細胞内に蓄えられる。そのセルロースは疎水性のリグニンによって各細胞同士が接着されており、その固まりが木材を構成している。針葉樹には、そのリグニンの含有量が広葉樹よりも多く、セルロースを包み込むように守っている。そのため、針葉樹の方が広葉樹よりも親水性のセルロースが保護されて若干含水率が高くなるものと考えられる。一般的に含水率が高いと強度が低下するといわれている。その理由は含水率が高いとセルロースにある結合水に水分子が再吸収され、壁細胞を支持するマイクロフィブリルの強度を弱めるためと考えられる。

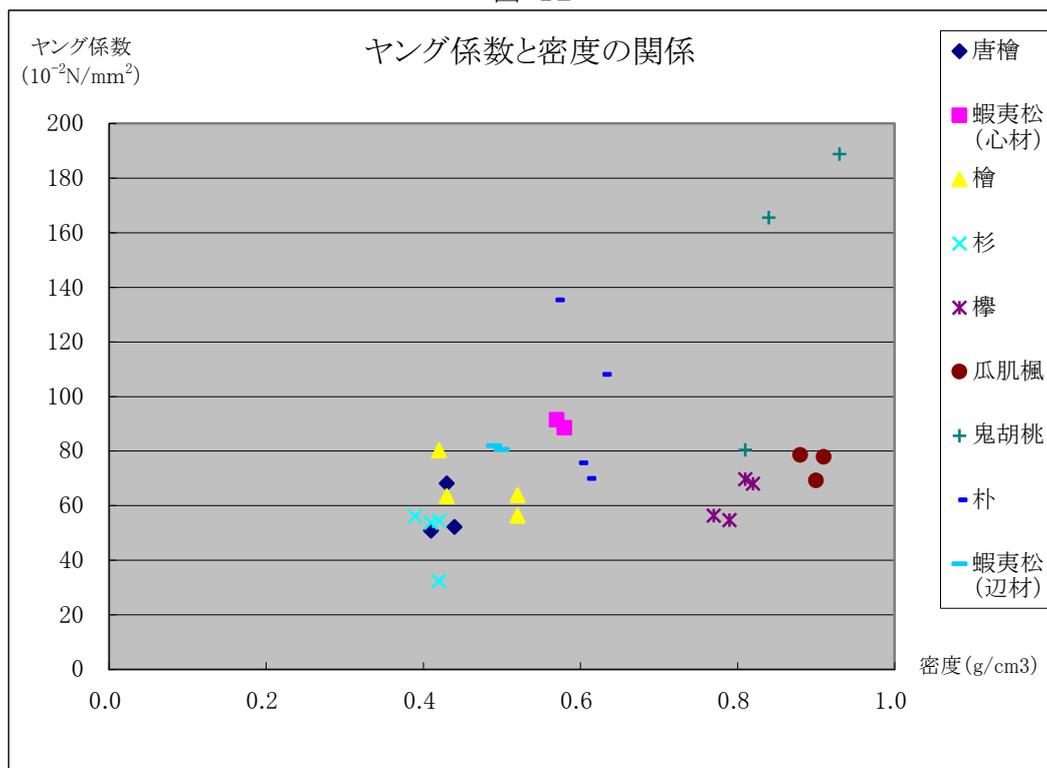
また、針葉樹の中では、杉が最も含水率が高い結果となった。杉は木

を切ったばかりの生材時における含水率が高いといわれており（辺材部約 150%、心材部約 100%）、乾燥に長い時間を必要とするといわれている。実験結果からも、そのことを裏付けられるような結果を得られたと考えられる。

4. 曲げ試験結果の考察

4-1. ヤング係数と密度との比較

図 12



一般的に、ヤング係数と密度の間には相関関係があるといわれている。密度が高いということは、構成細胞における分子結合が強いということであり、外力に対する応力の働きが強く硬質の材料であると考えられる。その結果、密度は復元力の指標であるヤング係数と対応すると考えられる。

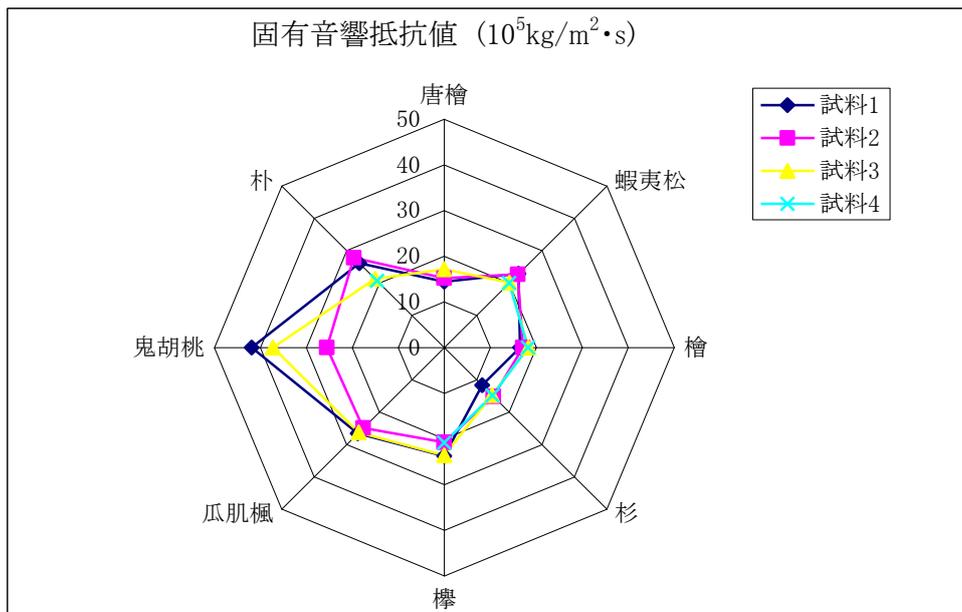
曲げ試験結果から作成した図 12 により、ヤング係数と密度には相関関係があることが分かった。

ギターの表板に使用される針葉樹系の唐檜、蝦夷松などは広葉樹に比べると密度が低く、ヤング係数も低い。杉や檜も同程度である。一方、広葉樹である朴や鬼胡桃も密度が高くなるにしたがい、ヤング係数も高くなっており、こちらにも相関関係が認められる。それに対し、欅や瓜肌楓は、密度が高いわりにヤング係数が低い。同じ蝦夷松でも心材のほうが辺材より密度が高く、ヤング係数もやや高い結果が得られた。

一般的に、唐檜や蝦夷松などギターに使用される木材の密度とヤング係数とのバランスの良さ、つまり程よい柔らかさは、人間にとって耳障りな高い周波数成分を押さえ、低い周波数成分を相対的に強める効果があるといわれている。こうした特性が音を柔らかくして心地よい音色をかもし出す要因になっているといわれている。

4-2.固有音響抵抗値について

図 13



固有音響抵抗値 z は、物質への音や振動の伝わりやすさを示す指標であり、 $z = \rho \cdot c = \sqrt{\rho \cdot E}$ (ρ : 密度、 c : 音速、 E : ヤング係数) で表せ

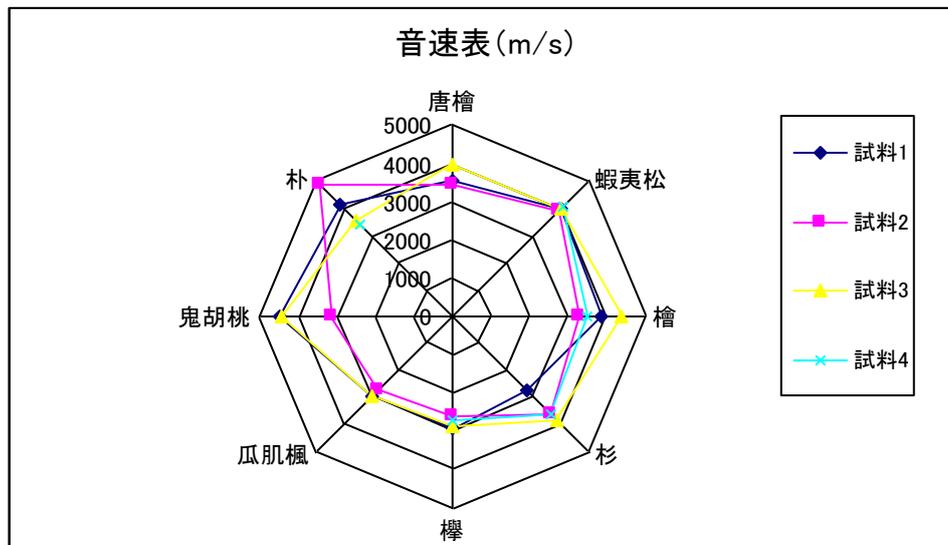
られる。密度が高いか、あるいは音速が速いと抵抗値が高くなる。または、密度あるいはヤング係数が高いほど抵抗が大きく、音が媒質に伝わりにくい。

密度と音速の積が増加すると抵抗値が増加するのは、音が伝わる際、媒質の密度が高いほど、あるいは音速が速いほど振動するエネルギーにより構成分子が摩擦を起こし熱エネルギーに変換されるからだと考えられる。それに対して、密度とヤング係数の積の平方根が増加すると抵抗値が増加する理由は、ヤング係数が高いということは木材の構成細胞における分子間の結合が強く振動を吸収しやすいと考えられ、そのため抵抗値が増加するものと考えられる。

表 2 から作成した図 13 を見ると、唐檜、蝦夷松などギターの表板に使用される針葉樹は、広葉樹と比較すると一様に抵抗値が低いことが分かる。その平均値は $17.7 \times 10^5 \text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$ であった。つまり、振動エネルギーが響板に伝わりやすいということである。それに対し、欒や瓜肌楓、鬼胡桃、朴などの広葉樹は、針葉樹に比べてやや抵抗値が高いという結果を得た。その平均値は $26.2 \times 10^5 \text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$ であった。抵抗値が高いと、振動エネルギーが熱エネルギーに変換され損失となる。ギターの表板に使用される木材として、唐檜や蝦夷松などがよく選択されている理由は、こうした振動に対する音響特性が優れている点によると考えられる。

4-3.音速について

図 14



媒質中に伝わる音の速さには、音速が指標として用いられる。

音速は $c = \sqrt{E/\rho}$ (ρ : 密度、 E : ヤング係数) で表わせられ、ヤング係数の平方根に比例し、密度の平方根に反比例する。つまり変形しにくく硬い材質ほど音速は速い。また密度が低いほど音速が速くなる。

ヤング係数が高いほど、変形しにくい硬い材質とされている。つまり分子間の結合が強く振動が少ないため、エネルギーの損失が少なく、速く音が伝わるものと考えられる。

表 3 から作成した図 14 を見ると唐檜、蝦夷松などギターの表板に使用される針葉樹は、広葉樹に比べて媒質中での音速が速いことが分かる。檜、杉も唐檜、蝦夷松とほぼ同じ速さであり、その平均値は 3716.2m/s であった。檜が楽器の響板に使用されないのは、単位体積あたり標準価格が唐檜や蝦夷松より高いためと考えられる。また、杉については価格が低く豊富に伐採でき、人工植林も容易なので楽器に使用できる響板として研究が進んでいる。それに対し、広葉樹系では樺、瓜肌楓は音速が遅く、鬼胡桃類、朴の木は音速が速いというばらつきのある結果を得た。

その平均値は 3418.9m/s であった。

樺は密度が高く硬質な材料のため、楽器の材料としては太鼓などに使用されている。また、瓜肌楓は、同じ種類の板屋楓（ドイツ楓と同種）がバイオリンの裏板に使用されている。硬質であり、また振動吸収が大きいためといわれている。他にはクラリネットやリコーダなどにも使用されている。鬼胡桃は、一般的に密度も高く硬質であり、加工がしにくいため、楽器材としてはあまり普及していないのだろうと考えられる。。朴はかつての日本では上等の木材としてさまざまな用途に使用されていたが、伐採が進み産出量が減少したため高価な材料となっている。楽器の材料としては木魚や木琴などに使用されている。

IV 結論

本試験から、ギターを表板に使用される唐檜、蝦夷松などは広葉樹系の木材に比べて材質が軽く、固有音響抵抗値が低く、また音速が速いという結果を得られた。つまり、振動しやすく、伝わりやすい音響変換効率が優れている材料と考えられる。

固有音響抵抗値は各物質がそれぞれ持っており、表 4 に木材以外の固有音響抵抗値を示した。実験結果から得られたデータから木材とアルミニウムや銅などの金属及び石英、コンクリートなどと比較すると、木材の固有音響抵抗値（平均値 $21.6 \times 10^5 \text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$ ）はとても低いことが分かる。しかも密度（平均値 610kg/m^3 ）が低く軽い材料であり、それに対して音速（平均値 3572.7m/s ）はそれほど大差のないことが分かる。つまり木材は振動エネルギーのロスが少なく、軽く加工しやすい材料であると考えられる。

表 4 媒質の違いによる固有音響抵抗値の相違

媒質	音速(m/s)	密度(kg/m ³)	固有音響抵抗値(kg/m ² ・s)
空気	340	1.2	410
水	1440	1000	14.4×10 ⁵
軟質ゴム	70	950	0.67×10 ⁵
銅	5000	7700	390×10 ⁵
アルミニウム	5200	2700	140×10 ⁵
木材(実験値)	3572.7	610	21.6×10 ⁵

「やさしい超音波工学」川端明編 ㈱工業調査会 1998年より作成

木材の中でも針葉樹の唐檜、蝦夷松は広葉樹に比べると固有音響抵抗値が低い結果となった(図13)。

また媒質の違いによる音速の相違を表5に示した。これを見ると、実験結果より得られたデータから、木材は固体である鉄やガラス、ポリエチレンより密度(平均値 610kg/m³)、ヤング係数(平均値 78.3N/m²)がともに低いのに比べ音速(平均値 3572.7m/s)については、ほぼ同じように速いことが分かる。

表 5 媒質の違いによる音速の相違

媒質	音速(m/s)	密度(kg/m ³)	ヤング係数(N/m ²)
空気	341	1.2	0.0014
水	1480	1000	22
鉄	5290	7860	2200
ガラス	4000-5500	2200-2600	600-800
ポリエチレン	2300	1100	58
木材(実験値)	3572.7	610	78.3

「音のしくみ」中村健太郎著 ㈱ナツメ社 1999年より作成

以上の点から、木材は密度及びヤング係数が低く軽い材料であり、加工がしやすく、また音速も速いため楽器の響板として非常に良く適した材料と考えられる。その上、木材の中でも唐檜、蝦夷松は広葉樹と比較すると音速がやや速いという結果を得られた（図 14）。

また、木材の中でも唐檜や蝦夷松は広葉樹と比較するとより密度が低くまたヤング係数も低いことが分かった（図 12）。密度とヤング係数が低いということは、単に材料の柔らかさと加工のしやすさが関係するだけではなく、双方のバランスがもたらすほどよい柔らかさは、人間にとって耳障りな高い周波数成分を押さえ、低い周波数成分を相対的に強める効果があるとされており、こうした特性が音を柔らかくして心地よい音色をかもし出す要因になっているといわれている。

以上の点から、唐檜や蝦夷松がギターの表板に最も適した材料であるという根拠が科学的にも立証され、本研究における実験結果からもその裏づけを得ることができたと考えられる。

一方、同じ針葉樹系の檜、杉も唐檜、蝦夷松とほぼ同程度の試験結果得たが、檜はその単位体積あたりの価格が唐檜や蝦夷松よりも高いため、一般に楽器の材料として使用されないものと考えられる。

また、杉に関しては針葉樹系の中では曲げヤング係数、曲げ比例限度、曲げ強さなどが同種のなかで最も低く、変形しやすい材料であるとの結果を得た。このことは他の針葉樹系木材に比べて、湿度の変化に対する不安定要素が大きいと考えられる。含水率測定の結果から杉は含水率が針葉樹系の他の木材よりも高く、乾燥に時間がかかる材質であるとの結果を得ている（図 11）。一般的に、木材は、吸湿性が高いと構成細胞である親水性のセルロースからなる壁細胞の結合を緩め、変形が生じやすくなる。これにより内部摩擦が増加し、振動エネルギーの損失が大きくなる。

なると考えられる。

こうした理由によって、今までギターの響板として使用されなかった杉などの木材に化学処理を施して内部摩擦を減少させ、木材の音響的性質を変える試みがなされており、こうした材料を使用したギターの製品化もされている。

一般的な化学処理の方法としては、1 ホルマール化処理、2、低分子フェノール樹脂含浸処理、3 レゾルシン／ホルムアルデヒド処理などがある。

ホルマール化処理とは、塩化水素または二酸化イオウを触媒に使用して木材をホルムアルデヒド（ CH_2O ）の蒸気中で加熱し、セルロースの水酸基間にホルムアルデヒドの架橋を形成する方法である（図 15）。これにより、成分間の結合を強め木材の吸湿性を半分程度に低下させることで、湿度変化に対し安定感を与えることができ、内部摩擦の減少から音響特性を向上させることができるといわれている。

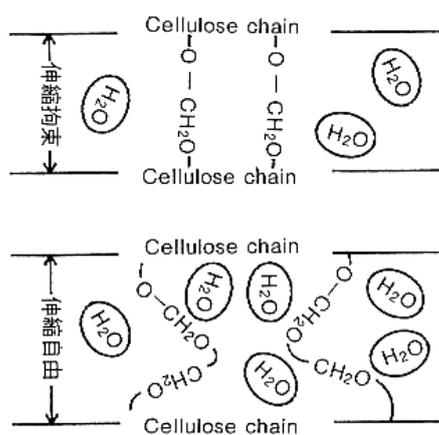


図 15 ホルムアルデヒドによる架橋
乾燥状態で形成された架橋（上図）
膨潤状態で形成された架橋（下図）

木材が乾燥状態においては、ホルムアルデヒドの分子はセルロース鎖間に 1 分子の架橋（上図）を形成し、膨潤状態では 2 分子以上の架橋（下図）を形成するとされている。セルロース鎖間の結合を強めるためには、架橋の分子数は少ないほど強固になるので、できるだけ乾燥に近い状態で処理することが望ましいといわれている。

一般的に、ホルマール化処理を施した材料を使用したバイオリンについては、音のつや、響きなどが向上することが認められている。

低分子量フェノール樹脂含浸処理とは、低分子量フェノール樹脂メタノール溶液中に浸漬し、風乾をした後に乾燥・加熱処理を施し、樹脂を硬化させる方法である。現在、小径の杉丸太から製造したベニヤを低分子量フェノール樹脂含浸処理した表板、裏板による杉ギターも製品化されている。しかし吸湿性の低下や、寸法安定性において、ホルマール化処理やレゾルシン／ホルムアルデヒド処理に劣るとされている。

レゾルシン／ホルムアルデヒド処理とは、レゾルシンを含浸した木材をホルムアルデヒド蒸気中で加熱し、細胞を樹脂化する方法である。クラシックギターにおいてすでに実用化されており、一般的に音量が増大することが認められている。

以上のような化学処理による木材の音響特性の改質により、一般的に、吸湿性の低下による内部摩擦の減少が認められており、すでに製品化されているギターもある。化学薬品の人体への有害性という不安要素については、製品の生産工程において常に注意し安全対策に努めなければならない。しかし、わが国におけるギター製作水準の向上が、充実した音楽文化を育むいしずえになるよう、多くの新しい技術開発の試みが実を結ぶことを期待したい。

おわりに

ギターは楽器としての寿命はバイオリンやピアノなどよりも短いとされている。例えばストラディバリウスの製作したバイオリンは 300 年を経た現在でも現役で演奏され、その音色の評価は高いといわれている。その理由は良質の木材を使用したことにより、乾燥による含水率の低下やセルロースの結晶化により強度を保つことができることが原因といわれている。また、ニカワを使用したことにより接着面が木材同士で馴染み合い修理が容易であることも一因とされている。

それに対し、ギターは、たとえ最良の材質を組み合わせ完成してもバイオリンほどの長寿を得ることはできないといわれている。しかし、ギターはバイオリンやピアノとは異なるその情緒ある音色で、人の心に落ち着きや安らぎを与えることができると思う。ギターが奏でる音楽にはギター特有の美しさがありのであり、これからも心を開いてさまざまな音楽を楽しんでゆきたいと思う。

ギターを手にして 20 年余りたつが、大学卒業を機に今後は余暇にはギターの練習にも励み、かつての「自分らしさ」を取り戻しながら新たな研究課題に対しての取り組みにもチャレンジして前進してゆきたい。

今回の実験では、試料の準備が不十分であったことが、悔やまれる。就業しながらの資料調べは容易ではなく、特に卒業研究のテーマが 2 転 3 転し、そのたびに資料とノートの数が増えた。研究を進めるうちに調査可能な部分と不可能な部分が明らかになり、そのたびにアウトラインや内容を書き換えなければならなかった。これも次回からの反省点として、課題としたい。

参考資料

資料 1

木材の試験方法

Z 2101-1994

確認 2002

改正 1977

制定 1954

Methods of test for woods

1. 総則

1.1 適用範囲 この規格は、木材の標準試験体による試験方法について規定する。

備考1. この規格の引用規格は、付表1に示す。

2. この規格の中で { } をつけて示してある単位及び数値は、従来単位によるものであって、参考値である。

1.2 試験項目 この規格に規定する試験項目は、次のとおりとする。

- | | |
|----------------------|----------------|
| (1) 平均年輪幅、含水率及び密度の測定 | (9) 割裂試験 |
| (2) 収縮率試験 | (10) 衝撃曲げ試験 |
| (3) 吸水量試験 | (11) 硬さ試験 |
| (4) 吸湿性試験 | (12) クリープ試験 |
| (5) 圧縮試験 | (13) くぎ引抜き抵抗試験 |
| (6) 引張試験 | (14) 摩耗試験 |
| (7) 曲げ試験 | (15) 耐朽性試験 |
| (8) せん断試験 | (16) 着炎性試験 |

3.2 含水率

3.2.1 測定方法

- (1) 試験体の乾燥前の質量(m_1)を測定する。
- (2) この試験体を換気の良い乾燥器の中で温度100~105 °Cで乾燥し、恒量に達したときの質量(m_2)を測定する。
- 3.2.2 結果の計算 含水率は、次の式によって算出し、0.5 %まで求める。

$$u = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

ここに、 u : 含水率(%)

m_1 : 乾燥前の質量(g)

m_2 : 全乾質量(g)

3.3 密度

3.3.1 結果の計算 密度は、次の式によって算出し、小数点以下2位まで求める。

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ここに、 ρ : 密度(g/cm³)

m : 試験体の質量(g)

V : 質量測定時の試験体の体積(cm³)

9. 曲げ試験

備考 この試験は、長手方向が繊維方向と平行で荷重方向と垂直な場合について行う。

9.1 試験体 試験体は、横断面が正方形の柱体とし、その寸法は、一辺の長さ(a)を20~40 mm、試験体の長さをスパンに辺長(a)の2倍を加えたものとする。

9.2 試験方法

9.2.1 スパンは、辺長(a)の14倍とし、集中荷重をスパンの中央部に加える。

9.2.2 荷重面は原則としてまさ(柁)目面とし、板目面又は追まさ(柁)面の場合には木表から荷重を加える。

9.2.3 荷重点及び支点に用いる鋼材の形状は、図10及び図11に示す。

9.2.4 平均荷重速度は、毎分14.70 N/mm²{150 kgf/cm²}以下とする。

9.3 結果の計算 曲げのヤング係数、比例限度、強さは、次の式(1)~(3)によって算出し、有効数字3けたまで求める。

$$E_b = \frac{\Delta P l^3}{48 I \Delta y} \dots\dots\dots(1)$$

$$\sigma_{bp} = \frac{P_p l}{4 Z} \dots\dots\dots(2)$$

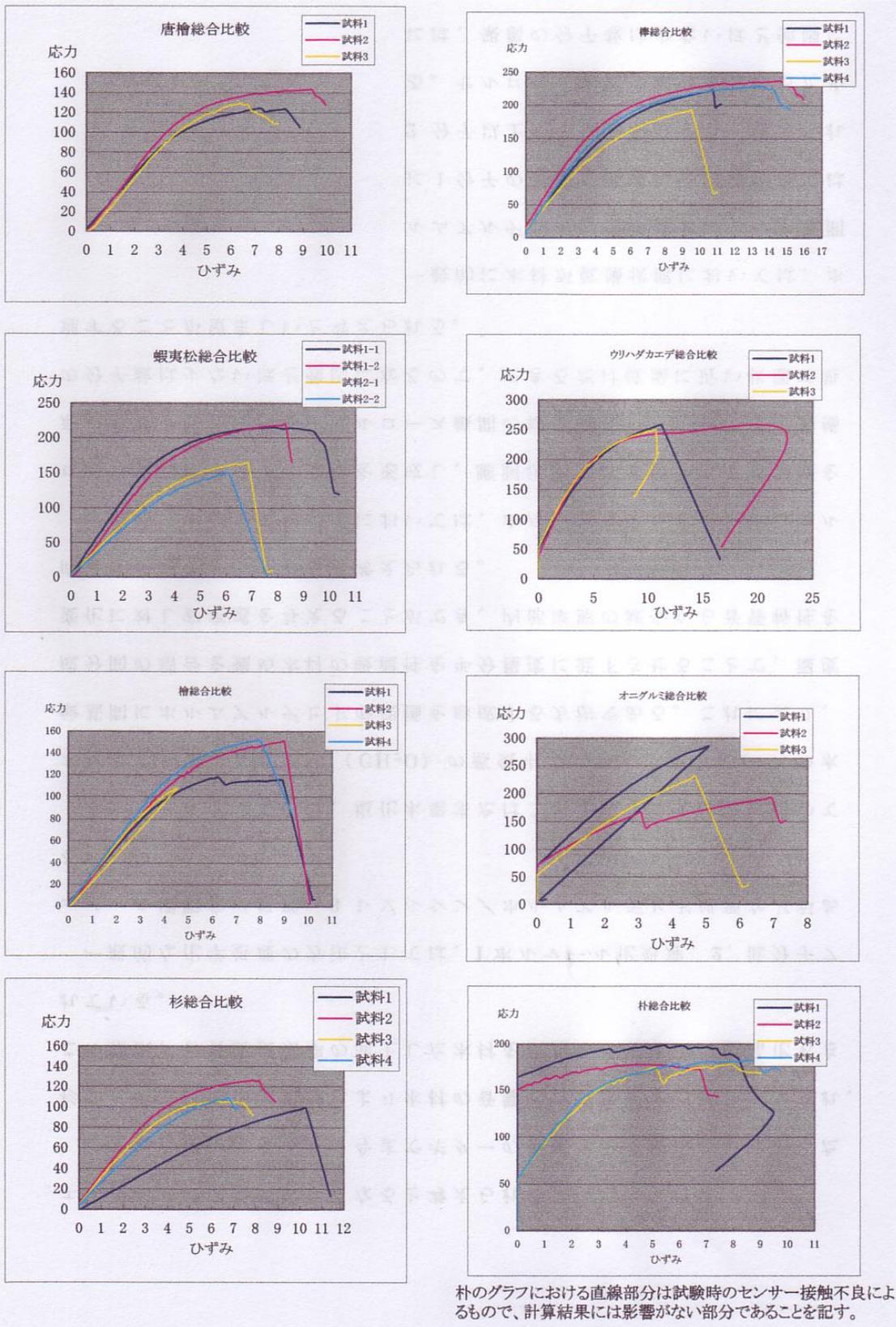
$$\sigma_b = \frac{P_m l}{4 Z} \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 E_b : 曲げヤング係数 (N/mm²) {kgf/cm²}
 σ_{bp} : 曲げ比例限度 (N/mm²) {kgf/cm²}
 σ_b : 曲げ強さ (N/mm²) {kgf/cm²}
 ΔP : 比例域における上限荷重と下限荷重との差 (N) {kgf}
 Δy : ΔP に対応するスパン中央のたわみ (mm)
 I : 断面2次モーメント $I = \frac{bh^3}{12}$ (mm⁴)
 l : スパン (mm)
 b : 試験体の幅 (mm)
 h : 試験体の高さ (mm)
 Z : 断面係数 $Z = \frac{bh^2}{6}$ (mm³)
 P_p : 比例限度荷重 (N) {kgf}
 P_m : 最大荷重 (N) {kgf}

9.4 記録 試験結果として、次の事項を記録する。

- | | |
|-------------|-----------|
| (1) 曲げヤング係数 | (5) 試験体寸法 |
| (2) 曲げ比例限度 | (6) 平均年輪幅 |
| (3) 曲げ強さ | (7) 密度 |
| (4) 樹種 | (8) 含水率 |

資料 2 曲げ試験結果に基づき作成した「応力ーひずみ」線図



資料 3 試験に使用した木材の種類と特徴

名称	分類	英名	学名	自生地と特徴
唐檜	マツ科	Hondo Spruce	<i>Picea jezoensis</i> var	関東、中部、紀伊半島の亜高山地帯に自生する。常緑高木で高さ30m、直径60cmほどになる。材質は蝦夷松とほぼ同じである。ドイツ唐檜やシトカ・スプルースなどの良質の唐檜類は、ギターやバイオリンの響板として使用される。
蝦夷松	マツ科	Yezo Spruce	<i>Picea jezoensis</i>	北海道、利尻、南千島(択捉、国後、色丹)、シベリア、アジア東北部の温帯上部、亜寒帯にかけて自生する。常緑高木で高さ35m、直径1mにもなる。同種の赤蝦夷松とは、殆ど材質は同じであり優良な材質はピアノやオルガンの響板、またはギター、バイオリン、ビオラ、セロなどの弦楽器の甲板材として使用されている。
檜	ヒノキ科	Hinoki Cypress	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	福島県以南の本州、四国、九州の山地の尾根や崖地に自生する。樹高は20、30メートルだが、大きいものは50m、直径は2.5mにもなる。木肌が緻密で美しく、白木材の代表であり、主に建築用として最高の評価を得ている。
杉	スギ科	Japanese Cedar	<i>Cryptomeria japonica</i>	日本特産の樹種であり、特に秋田杉、天竜杉、吉野杉、日田杉、屋久杉などがある。心材、辺材の協会が明瞭で心材は白色、辺材は淡紅色から赤褐色となる。材はやや軽軟で比較的狂いが好くないので加工は容易である。建築用材、建具材、電柱など用途は多い。
欅	ニレ科	Japanese Zelkova	<i>Zelkova serrata</i>	本州以南、四国、九州、朝鮮、中国、台湾に分布する。落葉高木で高さは30mにもなる。枝がほうき状に広がって美しく、公園や街路樹などに利用されている。家具、楽器、器具などに利用されている。硬質で加工しにくいので、楽器材としては木魚や太鼓等に使用されている。
瓜肌楓	カエデ科	Japanese Maple	<i>Acer rufinerve</i>	本州から九州に分布する。落葉高木で、丘陵地帯から山地の明るい夏緑樹林に生育する。楽器材としては、ドイツ楓などの優良な材質がバイオリンの裏板として使用されている。また、クラリネットやリコーダ、ピアノの駒としても使用されている。
鬼胡桃	クルミ科	Japanese Walnut	<i>Juglans sieboldiana</i>	北海道から九州の広範囲にわたって河原等に自生する。落葉高木で果肉が食用となる。硬質で加工しづらいため、あまり使用されていない。
朴	モクレン科	Japanese Cucumber Tree	<i>Magnolia obovata</i>	山地や平地の林中に自生する。落葉高木で高さは20m、直径1mになる。材質が軟らかく、肌理が細かいので昔から刀の鞘に賞用され、また、版木などにも用いられている。

参考文献

- 「楽器の歴史」 クルト・ザックス著 柿木吾郎訳 1994年
株全音楽譜出版社
- 「世界の楽器百科図鑑」 マックス・ウェイド・マシューズ著
別宮貞徳監訳 2002年 (株)東洋書林
- 「楽器の物理学」 N.H.フレッチャー、T.D.ロッシング著 岸憲史、久
保田秀美、芳川茂訳 シュプリンガー・フェアラク東京株式会社 2002
年
- 「ギター音楽への招待」 高橋功 1999年 (株)音楽之友社
- 「ギターは日本の歌をどう変えたか ギターのポピュラー音楽史」 北中
正和 2002年 (株)平凡社
- 「メイキング・マスター・ギター」 ロイ・コートナル著 瀧川勝男訳
2003年 (株)現代ギター社
- 「人間と音楽の歴史 エジプト II 古代音楽 第1巻」
ヌービ・アンワル・ラシード著 日本語版製作協力者 松島英子、片山千
賀子 (株)音楽之友社 昭和 60年
- 「弦楽器のしくみとメンテナンス」 佐々木朗著 (株)音楽の友社 1999年
- 「森林サイエンス」 信州大学農学部森林化学研究会編 川辺書林 2003
年
- 「木材工業ハンドブック 改定3版」 農林水産林業試験場 丸善株式会社
1982年
- 「木材活用辞典」 木材活用辞典編集委員会編集 株式会社 産業調査会辞
典出版センター 1991年
- 「楽器用木材の音響的性質とその改質」 矢野浩之 京都大学木材科学研
究所

「変わる木材 スーパーウッドの時代」 日本木材学会編 海青社 1993
年

「音のしくみ」 中村健太郎著 株式会社ナツメ社 1999年

「やさしい超音波工学」 川端昭編 株式会社工業調査会 1998年

「音入門 聴覚・音声科学のための音響学」 チャールズ・E・スピークス著 荒井隆行、菅原勉監編 海文堂出版株式会社 2002年

「森林サイエンス」 信州大学農学部森林化学研究会編 川辺書林 2003
年

「楽器用木材の音響的性質とその改質」 矢野浩之 京都大学木材科学研究
所